

ТЕМА 4

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

4.1 Задачи и виды регулирования

Системы теплоснабжения представляют собой взаимосвязанный комплекс потребителей теплоты, отличающихся как характером, так и величиной теплотребления. Режимы расходов теплоты многочисленными абонентами неодинаковы. Тепловая нагрузка отопительных установок изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, оставаясь практически стабильной в течение суток. Расход теплоты на горячее водоснабжение и для ряда технологических процессов не зависит от температуры наружного воздуха, но изменяется как по часам суток, так и по дням недели.

В этих условиях необходимо искусственное изменение параметров и расхода теплоносителя в соответствии с фактической потребностью абонентов. Регулирование повышает качество теплоснабжения, сокращает перерасход тепловой энергии и топлива.

В зависимости от места осуществления регулирования различают центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование.

Центральное регулирование выполняют на ТЭЦ или в котельной по преобладающей нагрузке, характерной для большинства абонентов. В городских тепловых сетях такой нагрузкой может быть отопление или совместная нагрузка отопления и горячего водоснабжения. На ряде технологических предприятий преобладающим является технологическое теплопотребление.

Групповое регулирование производится в центральных тепловых пунктах для группы однородных потребителей. В ЦТП поддерживаются требуемые расход и температура теплоносителя, поступающего в распределительные или во внутриквартальные сети.

Местное регулирование предусматривается на абонентском вводе для дополнительной корректировки параметров теплоносителя с учетом местных факторов.

Индивидуальное регулирование осуществляется непосредственно у теплопотребляющих приборов, например у нагревательных приборов систем отопления, и дополняет другие виды регулирования.

Тепловая нагрузка многочисленных абонентов современных систем теплоснабжения неоднородна не только по характеру теплопотребления, но и по параметрам теплоносителя. Поэтому центральное регулирование отпуска теплоты дополняется групповым, местным и индивидуальным, т. е. осуществляется комбинированное регулирование.

Комбинированное регулирование, состоящее из нескольких ступеней, взаимно дополняющих друг друга, создает наиболее полное соответствие между отпуском теплоты и фактическим теплопотреблением.

По способу осуществления регулирование может быть автоматическим и ручным.

Сущность методов регулирования вытекает из уравнения теплового баланса

$$Q = \frac{G_c \cdot c \cdot (t_1 - t_2)}{3600} \cdot n = k \cdot F \cdot \Delta t \cdot n, \quad (4.1)$$

где Q – количество теплоты, полученное прибором от теплоносителя и отданное нагреваемой среде, кВтч; G – расход теплоносителя кг/ч; c – теплоемкость теплоносителя, кДж/кг·°С; t_1, t_2 – температура теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С; n – время, ч; k – коэффициент теплопередачи, кВт/м²·°С; F – поверхность нагрева теплообменника, м²; Δt – температурный напор между греющей и нагреваемой средой, °С.

Из уравнения (4.1) следует, что регулирование тепловой нагрузки возможно несколькими методами: изменением температуры теплоносителя – качественный метод; изменением расхода теплоносителя – количественный метод; периодическим отключением систем – прерывистое регулирование; изменением поверхности нагрева теплообменника. Сложность осуществления последнего метода ограничивает возможность его широкого применения.

Качественное регулирование осуществляется изменением температуры при постоянном расходе теплоносителя. Качественный метод является наиболее распространенным видом центрального регулирования водяных тепловых сетей.

Количественное регулирование отпуска теплоты производится изменением расхода теплоносителя при постоянной его температуре в подающем трубопроводе.

Качественно-количественное регулирование выполняется путем совместного изменения температуры и расхода теплоносителя.

Прерывистое регулирование достигается периодическим отключением систем, т. е. пропусками подачи теплоносителя, в связи с чем этот метод называется регулированием пропусками.

Центральные пропуски возможны лишь в тепловых сетях с однородным теплопотреблением, допускающим одновременные перерывы в подаче теплоты. В современных системах теплоснабжения с разнородной тепловой нагрузкой регулирование пропусками используется для местного регулирования.

В паровых системах теплоснабжения качественное регулирование неприемлемо ввиду того, что изменение температур в необходимом диапазоне требует большого изменения давления. Центральное регулирование паровых систем производится в основном количественным методом или путем пропусков. Однако периодическое отключение приводит к неравномерному прогреву отдельных приборов и к заполнению системы воздухом. Более эффективно местное или индивидуальное количественное регулирование.

4.2 Общее уравнение регулирования

Расчет режимов регулирования основан на уравнениях теплового баланса, составленных для любого вида нагрузки при нерасчетных и расчетных условиях

$$Q = G_n \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = G_г \cdot c \cdot (t_1 - t_2) = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (4.2)$$

$$Q' = G'_n \cdot c \cdot (t'_1 - t'_2) = G'_г \cdot c \cdot (t'_1 - t'_2) = k' \cdot F \cdot \Delta t' \quad (4.3)$$

где Q – текущая тепловая нагрузка; G_n – расход первичного (греющего) теплоносителя; $G_г$ – расход вторичной (нагреваемой) среды; t_1, t_2 – температура первичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника; t_2, t_1 – соответственно, температура нагреваемой среды на входе в теплообменник и на выходе из него. Индексом штрих обозначены все величины, относящиеся к расчетным условиям.

Из отношения равенств (4.2) и (4.3) получим общее уравнение регулирования

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{G_n \cdot (t_1 - t_2)}{G'_n \cdot (t'_1 - t'_2)} = \frac{G_г \cdot (t_1 - t_2)}{G'_г \cdot (t'_1 - t'_2)} = \frac{k \cdot \Delta t}{k' \cdot \Delta t'} \quad (4.4)$$

Уравнение теплового баланса может быть представлено в виде

$$Q = W_{\bar{o}} \cdot dt_{\bar{m}} = W_{\bar{m}} \cdot dt_{\bar{o}} = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (4.5)$$

где $W_{\bar{o}}$, $W_{\bar{m}}$ – большие и меньшие значения водяных эквивалентов теплообменивающихся сред; $W = G \cdot c$ – эквивалент расхода воды, представляющий собой произведение массового, расхода теплоносителя на его удельную теплоемкость; $dt_{\bar{m}}$, $dt_{\bar{o}}$ – соответственно меньший и больший перепады температур теплоносителей.

Для первичного теплоносителя в данном случае $dt = t_1 - t_2$, для вторичной среды $dt = t_1 - t_2$.

С учетом выражения (4.5) уравнение регулирования (4.4) может быть записано в общем виде

$$\bar{Q} = \bar{W}_{\bar{o}} \cdot \bar{dt}_{\bar{m}} = \bar{W}_{\bar{m}} \cdot \bar{dt}_{\bar{o}} = \bar{k} \cdot \bar{\Delta t}, \quad (4.6)$$

где $\bar{Q} = Q/Q'$; $\bar{W} = W/W'$; $\bar{dt} = dt/dt'$; $\bar{k} = k/k'$; $\bar{\Delta t} = \Delta t/\Delta t'$ – относительные величины соответственно тепловой нагрузки, водяных эквивалентов, перепадов температур греющей и нагреваемой среды, коэффициента теплопередачи, температурного напора, представляющие собой долю от расчетного их значения.

Зависимость расхода или эквивалента расхода сетевой воды от тепловой нагрузки описывается эмпирическим уравнением

$$\bar{W} = \bar{Q}^m \quad (4.7)$$

где m – показатель степени, зависящий от метода регулирования.

При качественном методе $m=0$, $\bar{W} = 1$, при количественно-каличественном $0 < m < 1$.

4.3 Тепловые характеристики теплообменных аппаратов

Регулирование тепловой нагрузки приводит к изменению расхода и температуры теплоносителя в теплообменных аппаратах. Расчет режимов регулирования на основании общего уравнения (4.4) или (4.6) в ряде случаев затруднителен. Неизвестные значения температуры воды приходится определять методом последовательных приближений.

Расчеты упрощаются при использовании тепловых характеристик теплообменных аппаратов.

Уравнение характеристики теплообменного аппарата выводится из общего уравнения регулирования при замене среднелогарифмической разности температур линейной зависимостью вида

$$\Delta t = n - a dt_m - b dt_o \quad (4.8)$$

где $n = t_1 - t_2$ – максимальная разность температур греющей и нагреваемой среды на входе в теплообменник; a и b – постоянные коэффициенты, зависящие от схемы движения теплоносителя в теплообменном аппарате (при прямотоке принимается $a = b = 0,65$, при противоточном движении $a = 0,35$, $b = 0,65$), dt_m , dt_o – наименьший и наибольший перепады температур греющей и нагреваемой среды (рис. 4.1)

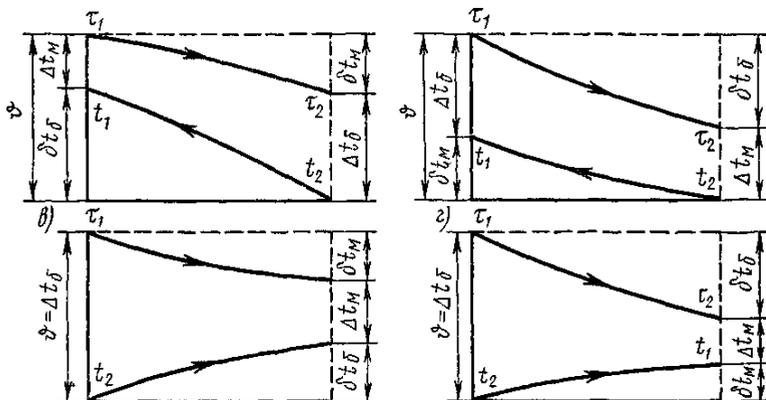


Рис. 4.1 Изменение температур теплоносителя в прямоточных и противоточных аппаратах: а – при соотношении $W_n/W_b > 1$; б – то же, $W_n/W_b < 1$; W_n – водяной эквивалент первичного (греющего) теплоносителя; W_b – водяной эквивалент вторичного (нагреваемого) теплоносителя

Как показывают исследования, замена среднелогарифмической разности температур линейной зависимостью (4.8) дает расхождение в результатах расчетов не более 4 – 6%, что не выходит за допустимые пределы точности инженерных расчетов. Если теплопроизводительность теплообменни-

ка Q отнести к максимальной разности температур n , то уравнение характеристики может быть представлено в виде

$$q = Q/n, \quad (4.9)$$

где q – тепловая производительность аппарата на 1° максимальной разности температур греющей и нагреваемой среды на входе в теплообменник, кВт/ $^\circ\text{C}$.

Из уравнений (4.9), (4.8) и (4.5) получим

$$q = \frac{Q}{n} = \frac{Q}{adt_m + bdt_g + \Delta t} = \frac{1}{\frac{a}{W_g} + \frac{b}{W_m} + \frac{1}{kF}}. \quad (4.10)$$

Для противотока уравнение (4.10) действительно при $q \leq W_m$ или $dt_g < n$, так как перепад температур теплоносителя не может быть больше максимальной разности температур между греющей и нагреваемой средой.

Для прямотока уравнение (4.10) действительно в диапазоне

$$q \leq \frac{1}{1/W_g + 1/W_m} \quad \text{или} \quad (dt_g + dt_m) \leq n$$

Уравнение характеристики легко приводится к безразмерному виду, что значительно упрощает расчеты.

Обозначим через e безразмерную удельную тепловую производительность теплообменника

$$e = q/W_m \quad (4.11)$$

Выражение для расчета e получают из уравнений (4.10) и (4.11)

$$e = \frac{1}{a \frac{W_m}{W_g} + b + \frac{1}{w}} \leq e_*, \quad (4.12)$$

где $w = kF/W_m$; e_* – безразмерная удельная теплопроизводительность теплообменника с бесконечно большой поверхностью нагрева.

Для противотока $\varepsilon_{*} = 1$, для прямотока $\varepsilon_{*} = \frac{I}{I + \frac{W_m}{W_0}}$.

По физическому смыслу e представляет собой отношение теплопроизводительности данного подогревателя к тепловой производительности подогревателя с бесконечно большой поверхностью нагрева, работающего при тех же параметрах теплоносителя на входе в аппарат.

Знак неравенства в выражении (4. 12) указывает на то, что величина e не может превысить e_* , так как температура нагреваемой среды не может превысить температуру греющей среды.

Поэтому, когда расчетное значение e получается больше e_* , для дальнейших расчетов принимают $e = e_*$.

С помощью полученных зависимостей тепловую производительность теплообменников определяют по формуле

$$Q = eWn \quad (4.13)$$

4.4 Центральное регулирование однородной тепловой нагрузки

Режим регулирования водяных систем теплоснабжения зависит от многочисленных факторов, но основным является вид тепловой нагрузки и схемы узлов вводов абонентов. Регулирование отпуска теплоты значительно упрощается при однородной тепловой нагрузке. В этих случаях можно ограничиться только центральным регулированием.

Центральное регулирование отопительной нагрузки применяют в системах теплоснабжения с децентрализованным горячим водоснабжением. В таких системах отопление является основной тепловой нагрузкой. Центральное регулирование осуществляется в соответствии с потребностью теплоты для отопления зданий при различных наружных температурах воздуха. При качественном регулировании задача расчета состоит в определении температуры воды в зависимости от тепловой нагрузки. Расход воды остается постоянным в течение всего отопительного сезона.

Общее уравнение (4.4) для регулирования отопительной нагрузки при зависимых схемах присоединения отопительных установок к тепловой сети может быть представлено в виде

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{t_e - t_u}{t_e - t_{p.o.}} = \frac{t_1 - t_{2,0}}{t'_1 - t'_{2,0}} = \frac{k\Delta t_0}{k'\Delta t'_0}, \quad (4.14)$$

где Q_0 – расход теплоты на отопление при текущей температуре наружного воздуха t_u ; $t_1, t_{2,0}$ – соответственно температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети; k – коэффициент теплопередачи; Δt_0 – температурный напор в нагревательном приборе при тех же условиях; $Q'_0, t'_1, t'_{2,0}, k', \Delta t'_0$ – те же величины при расчетной температуре наружного воздуха $t_{p.o.}$

Заменив в уравнении (4.14) отношение коэффициентов теплопередачи, получим

$$\bar{Q}_0 = \frac{t_1 - t_{2,0}}{t'_1 - t'_{2,0}} = \left(\frac{\Delta t_0}{\Delta t'_0} \right)^{1+n}. \quad (4.15)$$

Температурный напор при смешении воды в узле ввода определяют по формуле

$$\Delta t_0 = 0,5(t_3 + t_{2,0}) - t_e, \quad (4.16)$$

$$t_3 = \frac{t_1 + ut_{2,0}}{1+u}, \quad (4.17)$$

где t_3 – температура воды в подающем трубопроводе отопительной системы после смесительного устройства; u – коэффициент смешения, равный отношению расхода воды из обратного трубопровода G_2 к расходу воды из подающей линии теплотрассы G_1 .

Уравнение (4.15) с учетом зависимостей (4.16) и (4.17) запишется в виде

$$\bar{Q}_0 = \frac{t_1 + t_{2,0}}{t'_1 - t'_{2,0}} - t_e = \left(\frac{t_1 + t_{2,0}(1+2u) - 2t_e(1+u)}{t'_1 + t'_{2,0}(1+2u) - 2t_e(1+u)} \right)^{1+n}. \quad (4.18)$$

Коэффициент смешения и определяют из уравнения теплового баланса смесительного устройства $G_1 t'_1 + G_2 t'_{2,0} = (G_1 + G_2) t'_3$:

$$u = \frac{t'_1 - t'_3}{t'_3 - t'_{2,o}} = \frac{dt'_0}{\Theta'} - 1, \quad (4.19)$$

где dt'_0 – расчетная разность температур сетевой воды; Θ' – расчетный перепад температур в отопительной системе.

Подставив значение коэффициента смешения u в уравнение (4.18) при $n = 0,25$, после преобразований получим выражение для определения температуры в подающем трубопроводе

$$t_1 = t_g + \Delta t'_0 \bar{Q}_o^{0,8} + (dt'_0 - 0,5\Theta') \bar{Q}_o \quad (4.20)$$

Температура воды после отопительной установки равна:

$$t_{2,o} = t_1 - dt'_0 \bar{Q}_o = t_g + \Delta t'_0 \bar{Q}_o^{0,8} - 0,5\Theta' \bar{Q}_o. \quad (4.21)$$

Температура воды после смесительного устройства на вводе составит

$$t_3 = t_{2,o} + \Theta' \bar{Q}_o = t_g + \Delta t'_0 \bar{Q}_o^{0,8} + 0,5\Theta' \bar{Q}_o. \quad (4.22)$$

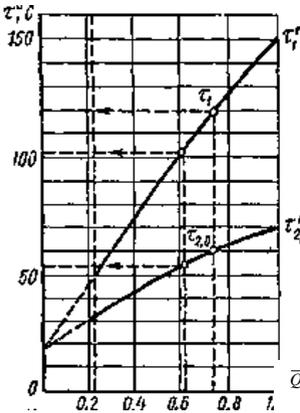


Рис.4.2. График температур качественного регулирования отопительной нагрузки

Аналогичные зависимости можно получить из уравнения регулирования (4.13) с помощью характеристики отопительной системы. Как следует из формул (4.20)–(4.22), температура воды является однозначной функцией относительной нагрузки. Принимая $\bar{Q}_o = 0 \div 1$, можно найти соответствующие значения температуры воды. Общий вид температурного графика при исходных данных $\phi_1 = 150^\circ\text{C}$, $t'_{2,o} = 70^\circ\text{C}$, $t'_3 = 95^\circ\text{C}$, $t_g = 18^\circ\text{C}$ показан на рис.4.2

Приведенный график называют отопительным.

Зависимость относительного расхода теплоты на отопление от температуры наружного воздуха можно представить графически

рис. (4.2) с помощью отношения 4.23. Значения температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах соответствующие различным относительным расходам тепла на отопление, приведены в справочной литературе.

$$\bar{Q}_0 = \frac{t_e - t_n}{t_e - t_{p.o.}} \quad (4.23)$$

Расчетный расход воды на отопление определяют по формуле

$$G'_o = \frac{Q'_o}{c(t'_1 - t'_{2,o})} 3600 \quad (4.24)$$

При *независимых схемах* присоединения абонентов к тепловой сети (рис. 4.3) в приборы отопительной системы поступает вода, нагреваемая в отопительном теплообменнике за счет теплоты сетевой воды. Расчетные значения нагреваемой воды $t'_{1,o}$ принимают 95–140°C, расчетная температура обратной воды $t'_{2,o}$ равна 70°C.

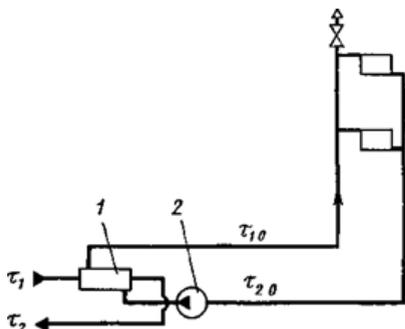


Рис 4.3. Схема независимого присоединения отопительной установки:

- 1 – теплообменник системы отопления;
- 2 – циркуляционный насос

Параметры сетевой воды на входе (ϕ_1) и выходе (ϕ_2) из отопительного подогревателя находят из уравнения регулирования (4.13):

$$Q_n = e_n W_n (t_1 - t_{2,o}) \quad (4.25)$$

где e_n – безразмерная удельная теплопроизводительность подогревателя; W_M – меньшее значение эквивалента расхода воды через подогреватель.

При качественном регулировании эквиваленты расхода сетевой и нагреваемой воды неизменны, поэтому величина e_n будет также постоянной.

Из равенства (4.13) следует

$$\bar{t}_1 = t_{2,o} + \frac{Q_o}{e_n W_M} = t_{2,o} + \frac{W_o}{e_n W_M} dt'_0 \bar{Q}_o \quad (4.26)$$

где W_o – эквивалент расхода нагреваемой воды; dt'_0 – расчетная разность температур нагреваемой воды, $dt'_0 = t'_{1,0} - t'_{2,0}$. Заменив в равенстве (4.26) $t_{2,o}$ выражением (4.21), получим:

$$t_1 = t_{1,o} + \left(\frac{W_o}{e_n W_M} - 1 \right) dt'_0 \bar{Q}_o = t_{1,o} + \left(\frac{W_o}{e_n W_M} - 1 \right) \frac{Q_o}{W_o} \quad (4.27)$$

Температура обратной воды на выходе из теплообменника равна

$$t_2 = t_{2,o} + \frac{Q_o}{W_o} \left(\frac{W_o}{e_n W_M} - 1 \right) \quad (4.28)$$

Постоянный расход воды при центральном качественном регулировании упрощает эксплуатацию системы, поэтому этот метод регулирования нашел применение в существующих системах теплоснабжения от районных котельных.

При **количественном регулировании** температура сетевой воды в подающем трубопроводе постоянна. Регулирование тепловой нагрузки осуществляется изменением расхода воды. Задачей расчета является определение расхода и температуры обратной воды в зависимости от величины отопительной нагрузки. Расчетные выражения выводятся из общего уравнения регулирования (4.4) при условии $\phi_1 = \text{const}$.

Относительный расход сетевой воды и температуру обратной воды определяют из выражений:

$$\bar{G}_0 = \frac{G_o}{G'_o} = \frac{\bar{Q}_o}{1 + \frac{\Delta t'_0}{dt'_0 - 0,5\Theta'} (1 - \bar{Q}_o^{0,8})} \quad (4.29)$$

$$t_{2,0} = t'_1 - dt'_0 \cdot \frac{\bar{Q}_o}{G_o} \quad (4.30)$$

График регулирования, построенный по формулам (4.29) и (4.30), показан на рис. 4.4. При уменьшении тепловой нагрузки и снижении расхода воды температура обратной воды достигает температуры воздуха помещения. Дальнейшее снижение теплоотдачи приборов происходит за счет частичного заполнения нагревательных приборов водой с температурой t_w .

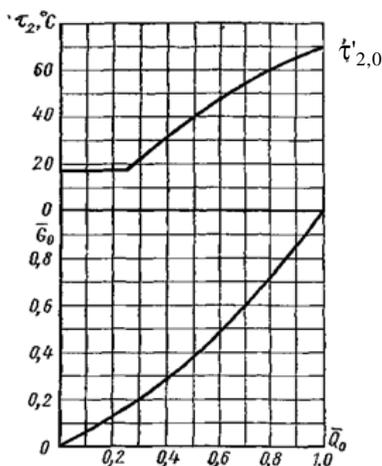


Рис. 4.4. График количественного регулирования отопительной нагрузки при $\phi_1 = 150^\circ\text{C}$; $u' = 25^\circ\text{C}$; $t_o = 18^\circ\text{C}$

Основным достоинством количественного регулирования является сокращение расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя. Это преимущество может быть использовано в магистральных трубопроводах двухступенчатых сетей, к которым абоненты присоединены по независимым схемам или с помощью смесительных насосных подстанций. При снижении расхода сетевой воды в магистральных сетях смесительные насосы, работающие с переменным коэффициентом смешения, увеличивают подачу воды из обратной магистрали. Благодаря этому в системах отопления сохраняется необходимый расход воды и тем самым устраняется основной недостаток количественного регулирования – разрегулировка отопительных систем.

При качественно-количественном регулировании осуществляется изменение расхода и температуры сетевой воды в зависимости от величины отопительной нагрузки. Исследованиями показано, что для устранения переменного влияния естественного давления, вызывающего разрегули-

ровку систем отопления, изменение расхода воды должно происходить по зависимости $\bar{W}_o = \bar{G}_o = (\bar{Q}_o)^m$

Для двухтрубных систем отопления $m = 0,33$, для однетрубных $m = 0,2 \div 0,25$.

Температура воды в подающем и обратном трубопроводах определяется из общего уравнения регулирования (4.4) с учетом изменения расхода воды по зависимости (4.7):

$$t_1 = t_a + \Delta t'_0 \cdot \bar{Q}_0^{0,8} + (dt'_0 - 0,5\Theta') \cdot \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \quad (4.31)$$

$$t_{2,0} = t_a + \Delta t'_0 \cdot \bar{Q}_0^{0,8} - 0,5\Theta' \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \quad (4.32)$$

Плавное изменение расхода воды практически осуществить сложно, поэтому оно заменяется ступенчатым регулированием. В результате отопительный сезон делится на несколько диапазонов, в каждом из которых поддерживается постоянный расход воды. В холодный период система теплоснабжения работает с расчетным расходом воды. При повышении температуры наружного воздуха расход воды снижается. Переменный расход обеспечивается работой нескольких насосов с различной производительностью.

Ступенчатое изменение расхода сетевой воды приводит к ступенчатому изменению температуры. При уменьшении расхода воды температура в подающем трубопроводе должна быть выше, а в обратной линии несколько ниже, чем при отопительном графике. Применение качественно-количественного регулирования снижает расход электроэнергии на перекачку теплоносителя.

Следует отметить, что центральное регулирование даже при однородной отопительной нагрузке не может обеспечить во всех помещениях расчетной температуры воздуха. Это объясняется тем, что при расчете графиков регулирования не учитывается влияние ветра, солнечной радиации, а также различие расчетных температур воздуха в помещениях разного назначения. Поэтому в разветвленных тепловых сетях центральное регулирование дополняется местным и индивидуальным регулированием, учитывающим особенности теплопотребления отдельных абонентов.

4.5 Центральное регулирование закрытых систем по отопительной нагрузке

Современные системы теплоснабжения характеризуются наличием разнородных потребителей, отличающихся как видом теплопотребления, так и параметрами теплоносителя. Наряду с отопительными установками значительное количество теплоты расходуется на горячее водоснабжение, возрастает вентиляционная нагрузка. При одновременной подаче теплоты по двухтрубным тепловым сетям для разнородных потребителей центральное регулирование, выполняемое по преобладающей нагрузке, должно быть дополнено групповым и местным регулированием. При этом температура сетевой воды в подающем трубопроводе закрытых систем не должна быть ниже 70°C , так как при более низких температурах нагрев водопроводной воды в теплообменнике до $60 - 65^{\circ}\text{C}$ будет невозможен. В результате такого ограничения график температур имеет вид ломаной линии с точкой излома при минимально допустимой температуре воды (рис. 4.5). Температура наружного воздуха, соответствующая точке «излома» или «срезки» графика, обозначается t_n''' . При температурах наружного воздуха выше t_n''' центральное регулирование сезонной нагрузки во избежание перегрева помещений дополняется местным регулированием.

В зависимости от соотношения нагрузок горячего водоснабжения и отопления центральное регулирование разнородной нагрузки производится по отопительной нагрузке или по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке принимается в системах теплоснабжения со среднечасовой нагрузкой горячего водоснабжения, не превышающей 15%, от расчетного расхода теплоты на отопление. Температура воды в подающем трубопроводе определяется по формуле (4.20). Точка излома температурного графика делит отопительный период на два диапазона (рис. 4.5): I – в интервале наружных температур $t_n = 8^{\circ}\text{C} \div t_n''''$; II – в интервале температур $t_n'''' - t_{p.o.}$. Граница между диапазонами находится графически в точке пересечения кривой $t_1 = f(t_n)$ с горизонтальной линией, соответствующей $t_1'' = 70^{\circ}\text{C}$.

График температур, приведенный на рис. 4.5, носит название *отопительно-бытового*.

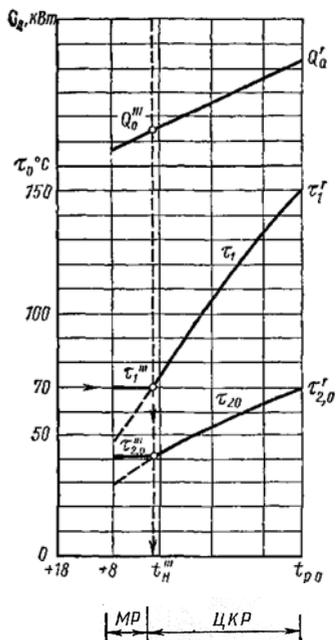


Рис 4.5. График температур, расходов теплоты при комбинированном регулировании отопительной нагрузки
 МР – местное регулирование; ЦКР – центральное качественное регулирование

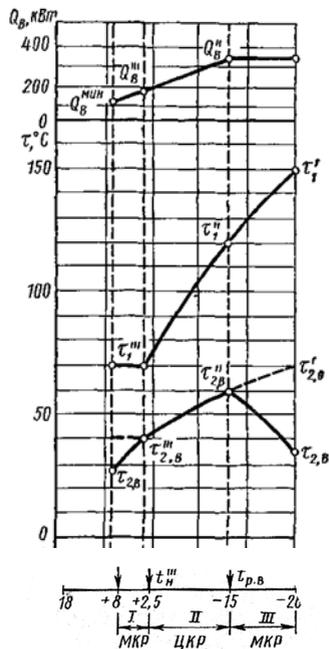


Рис 4.6. Графики температур, расходов теплоты при регулировании вентиляционной нагрузки расходом сетевой воды
 МКР – местное количественное регулирование. ЦКР – центральное качественное регулирование

При центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке расход воды в отопительных системах остается постоянным в течение всего отопительного сезона. Требуемый расход сетевой воды на горячее водоснабжение и вентиляцию устанавливается соответствующими местными регуляторами. В этих условиях присоединение абонентских установок к тепловой сети выполняется обычно по параллельной или двухступенчатой смешанной схеме.

Расчет и построение графиков регулирования рассмотрим отдельно для каждого вида нагрузки.

Графики температур, расходов теплоты и воды на отопление.
 Температура воды в подающем и обратном трубопроводах определяется

по формулам (4.20) и (4.21) с точкой излома температурного графика при минимально допустимой температуре воды в подающей линии $t_1''' = 70^\circ\text{C}$.

В диапазоне I (рис. 4.5) при постоянной температуре воды в подающем трубопроводе регулирование отопительной нагрузки осуществляется обычно местными пропусками. Периодическое отключение систем отопления предотвращает перегрев помещений. Число часов ежесуточной работы системы определяют из уравнения

$$n = 24 \frac{t_g - t_n}{t_g - t_n'''} \quad (4.33)$$

В связи с периодическим отключением отдельных отопительных установок общий расход воды в сети сокращается по мере повышения температуры наружного воздуха. Температуру обратной воды для этого диапазона принимают постоянной и равной $t_{2,o}'''$.

Регулирование местными пропусками, осуществляемое вручную, приводит к значительным колебаниям температуры воздуха в помещениях и к перерасходу теплоты. Более целесообразным является групповое или местное количественное регулирование, выполняемое автоматически. По мере повышения температуры наружного воздуха расход сетевой воды на отопление сокращается. Смесительные насосы, установленные в ЦТП после подогревателей горячего водоснабжения, увеличивают расход подмешиваемой воды из обратной линии для поддержания гидравлического и теплового режима системы отопления.

В диапазоне II при $t_n < t_n'''$ осуществляется центральное качественное регулирование. Расчетный расход воды на отопление определяется по формуле (4.24).

Графики температур и расходов теплоты и воды на вентиляцию.

При центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке температура воды в подающем трубопроводе в диапазоне t_n до t_n''' изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха. По характеру изменения температуры воды и расхода теплоты на вентиляцию отопительный период делится на три диапазона (рис. 4.6).

В диапазоне I (от $t_n = 8^\circ\text{C}$ до t_n''') при переменной вентиляционной нагрузке температура в подающей линии постоянна.

В диапазоне II (от t_n''' до $t_{p,g}$) по мере увеличения вентиляционной нагрузки возрастает и температура воды.

В диапазоне III (от $t_{p,в}$ до $t_{p,о}$) при постоянном расходе теплоты на вентиляцию температура воды в подающей линии переменна. Как следует из графиков, центральное качественное регулирование вентиляционной нагрузки возможно лишь в диапазоне II, где характер изменения температуры воды соответствует изменению нагрузки. В диапазонах I и III осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода сетевой воды или расхода нагреваемого воздуха.

Задачей расчета является определение температуры воды после калориферов и расхода сетевой воды. Расчет графиков производится отдельно для каждого диапазона с учетом принятого способа регулирования.

1. *Регулирование расходом сетевой воды.* Общее уравнение регулирования (4.4) применительно к вентиляционной нагрузке запишется в виде

$$\frac{Q_g}{Q_g''} = \frac{G_g(t_1 - t_{2g})}{G_g''(t_1'' - t_{2g}'')} = \frac{k\Delta t}{k''\Delta t''} \quad (4.34)$$

где Q_g – расход теплоты на вентиляцию при текущей температуре наружного воздуха; G_g – расход сетевой воды на вентиляцию; t_{2g} – температура воды после калориферов; k – коэффициент теплопередачи; Δt – температурный напор в калорифере, $\Delta t = 0,5(t_1 + t_{2g}) - 0,5(t_n + t_g)$. (Двумя штрихами обозначены величины, относящиеся к расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{p,в}$).

Изменение коэффициента теплопередачи калорифера описывается

$$kF = \Phi_k (W_m)^{0,15} = \Phi_k (G_g c)^{0,15}, \quad (4.35)$$

где Φ_k – параметр калорифера; $W_m = G_g c$ – эквивалент расхода сетевой воды на вентиляцию.

Уравнение (4.34) с учетом зависимости (4.35) запишется в виде

$$\frac{Q_g}{Q_g''} = \frac{G_g(t_1 - t_{2g})}{G_g''(t_1'' - t_{2g}'')} = \left(\frac{G_g}{G_g''} \right)^{0,15} \frac{\Delta t}{\Delta t''} \quad (4.36)$$

Заменив отношение расходов воды отношением расходов теплоты по зависимости (4.34), после преобразований получим

$$\left(\frac{\bar{Q}_e}{Q_e''}\right)^{0,85} = \left(\frac{t_1'' - t_{2,e}''}{t_1 - t_{2,e}}\right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t''} \quad (4.37)$$

Неизвестное значение температуры обратной воды $t_{2,e}$ определяется решением уравнения (4.37) методом последовательных приближений.

Расход воды находят по формуле

$$G_e = \frac{\bar{Q}_e}{c \cdot (t_1 - t_{2,e})} \cdot 3600 \quad (4.38)$$

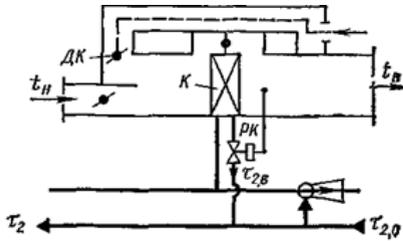


Рис.4.7. Принципиальная схема присоединения calorифера к тепловым сетям: *K* – calorифер; *DK* – дроссель-клапан; *PK* – регулирующий клапан

В диапазоне I (рис. 4.6) с увеличением вентиляционной нагрузки возрастает расход воды, что приводит к сокращению времени пребывания воды в calorифере и к росту температуры обратной воды. Регулирование расхода воды осуществляется с помощью регулировочного клапана *PK* по импульсу от температуры воздуха за calorифером (рис. 4.7).

Расчет графиков производится по формулам (4.37) и (4.38).

Для диапазона II при постоянном расходе воды уравнение (4.37) упрощается:

$$\bar{Q}_e = \frac{(t_1 - t_{2,e})}{(t_1'' - t_{2,e}'')} \cdot Q_e'' \quad (4.39)$$

отсюда температура воды после calorиферов определится из выражения

$$t_{2,e} = t_1 - (t_1'' - t_{2,e}'') \bar{Q}_e, \quad (4.40)$$

где $t_{2,e}'$ – расчетная температура воды на выходе из calorифера, принимаемая равной 60°C.

Расчетный расход сетевой воды определяют по формуле (4.38) при расчетных значениях тепловой нагрузки Q''_e и температурах воды t''_1, u, t''_{2e} .

В диапазоне III постоянный расход теплоты на вентиляцию при переменной температуре сетевой воды обеспечивается местным количественным регулированием. Уравнение (4.37) для этого диапазона запишется так

$$1 = \left(\frac{t''_1 - t''_{2e}}{t_1 - t_{2e}} \right)^{0,15} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t''} \quad (4.41)$$

Температуру обратной воды определяют методом подбора. Расчет графиков регулирования целесообразно начинать с расчетных условий, соответствующих $t_{p,e}$.

2. *Регулирование расходом воздуха.* Местное количественное регулирование осуществляется изменением расхода наружного воздуха, проходящего через калорифер при постоянном расходе сетевой воды. Общее уравнение регулирования в данном частном случае запишется в виде формулы (4.39).

Расчетный расход воды определится по формуле (4.38) при расчетном расходе тепла Q''_e и температуре воды, соответствующей расчетным значениям t''_1, u, t''_{2e} . В диапазоне I (рис. 4.8) рост вентиляционной нагрузки при постоянной температуре в подающем трубопроводе и постоянном расходе воды приводит к увеличению перепада температур сетевой воды.

Из уравнения (4.39) при $G_e = 1$ имеем

$$t_{2,e} = t''_1 - (t''_1 - t''_{2e}) \bar{Q}_e \quad (4.42)$$

В диапазоне II осуществляется центральное качественное регулирование.

В диапазоне III по мере понижения наружной температуры уменьшается количество наружного воздуха, поступающего в калорифер. Система работает с рециркуляцией.

Из уравнения (4.39) при $\bar{Q}_e = 1$ и $\bar{G}_e = 1$.

$$\phi_{2,e} = \phi - (\phi_1 - \phi_{2,e}) \quad (4.43)$$

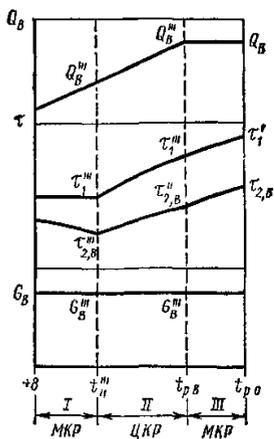


Рис. 4.8. Графики температур, расходов теплоты и сетевой воды при регулировании вентиляционной нагрузки расходом воздуха

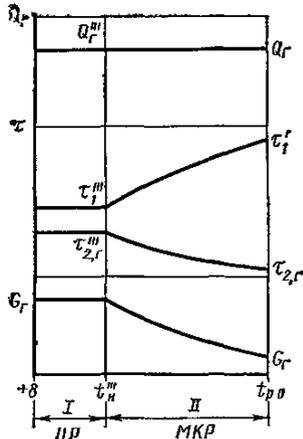


Рис. 4.9. Графики температур, расходов теплоты и сетевой воды на горячее водоснабжение при параллельной схеме включения подогревателей: ЦНР – центральное регулирование

Графики температур, расходов теплоты и сетевой воды на горячее водоснабжение. Тепловая нагрузка горячего водоснабжения отличается большой суточной неравномерностью. В случае установки аккумуляторов горячей воды расчет графиков регулирования производится по среднечасовой нагрузке горячего водоснабжения. При отсутствии аккумуляторов графики рассчитывают исходя из максимального часового расхода теплоты.

По характеру изменения температуры воды в подающем трубопроводе и при условно принятом для расчета графиков регулирования постоянном расходе теплоты на горячее водоснабжение отопительный период делиться на два диапазона (рис. 4.9).

В диапазоне I при постоянной нагрузке горячего водоснабжения и постоянной температуре воды расход сетевой воды тоже остается неизменным.

В диапазоне II постоянный расход теплоты на горячее водоснабжение при переменной температуре сетевой воды обеспечивается местным количественным регулированием. С увеличением температуры сетевой воды регулятор РТ прикрывается, уменьшая поступление греющей воды в подогреватель (рис. 4.10). Расчет регулирования сводится к определению температуры обратной воды и эквивалента расхода сетевой воды на горячее водоснабжение. Методика расчета зависит от схемы присоединения подогревателей.

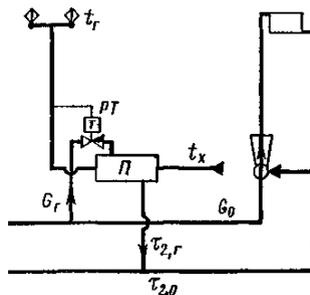


Рис. 4.10. Присоединение подогревателя горячего водоснабжения по параллельной схеме:

1. *Параллельное присоединение подогревателей горячего водоснабжения* (рис.4.10). В диапазоне I при постоянном расходе сетевой воды температура воды после водоподогревателей также постоянна (см. рис. 4. 9). Расчетная разность температур сетевой воды принимается равной $\delta t''' = t_{1,1}''' - t_{2,r}''' = 35 \div 40^\circ\text{C}$.

Эквивалент расчетного расхода сетевой воды определяют из выражения

$$W_2''' = Q_2 / dt_2''' \quad (4.44)$$

Расход сетевой воды равен

$$G_z''' = 3600W_z'''/c \quad (4.45)$$

В диапазоне II эквивалент расхода сетевой воды находят на основании решения уравнения регулирования (4.13).

Предварительно определяют эквивалент расхода вторичной (водопроводной) воды

$$W_{6.6} = Q_z / (t_z - t_x) \quad (4.46)$$

Параметр подогревателя Φ находят по данным расчетного режима

$$\Phi = \frac{k'''F}{\sqrt{W_z''' \cdot W_{6.6}}} \quad (4.47)$$

Произведение расчетного коэффициента теплопередачи k''' на поверхность нагрева находят из выражения

$$k'''F = \frac{\ln \frac{n - Q_z/W_6}{n - Q_z/W_M}}{\frac{1}{W_M} - \frac{1}{W_6}} \quad (4.48)$$

где $W_6 = W_z'''$; $W_M = W_{6.6}$; $n = t_1 - t_x$

С понижением температуры наружного воздуха расход сетевой воды уменьшается.

Температуру обратной воды после водоподогревателя определяют из выражения

$$t_{2,e} = t_1 - \frac{Q_z}{W_z} \quad (4.49)$$

2. *Смешанная схема включения подогревателей.* В двухступенчатой смешанной схеме (рис. 4. 11) предварительный подогрев водопроводной воды в подогревателе нижней ступени за счет использования теплоты обратной воды снижает расход сетевой воды на горячее водоснабжение.

В диапазоне I (рис. 4.12) температура сетевой воды на выходе из подогревателя верхней ступени принимается равной температуре обратной воды

после системы отопления ($t_{2c}''' = t_{2o}''' = t_{cm}'''$) - Как показывают расчеты, этому условию соответствует минимальная суммарная поверхность нагрева подогревателей. Температура водопроводной воды на выходе из подогревателя нижней ступени определяется из условия недогрева ее до температуры греющей среды на величину $\Delta t'''$

$$t_n''' = t_{cm}''' - \Delta t''' \quad (4.50)$$

где $\Delta t''' = 5 \div 10^\circ\text{C}$.

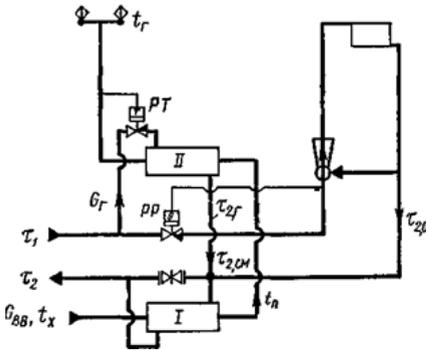


Рис. 4.11. Присоединение подогревателей горячего водоснабжения по двухступенчатой смешанной схеме:

- I – подогреватель нижней ступени;
- II – подогреватель верхней ступени

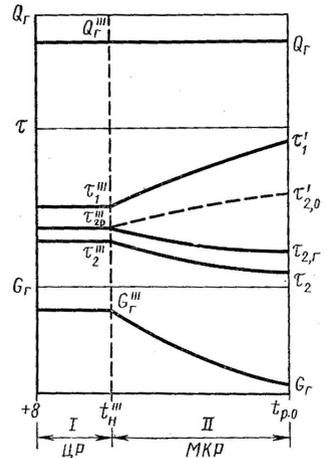


Рис. 4.12 Графики температур, расходов теплоты и сетевой воды на горячее водоснабжение при смешанной схеме присоединения подогревателей

В диапазоне I тепловая нагрузка делится между подогревателями верхней (II) и нижней (I) ступени пропорционально степени подогрева водопроводной воды в каждом из них.

Теплопроизводительность подогревателей верхней (II) и нижней (I) ступени определится зависимостями:

$$Q_{II} = Q_2 \frac{t_2 - t_n'''}{t_2 - t_x} \quad (4.51)$$

$$Q_I = Q_2 \frac{t_n''' - t_x}{t_2 - t_x} \quad (4.52)$$

Эквивалент расчетного расхода сетевой воды на горячее водоснабжение с учетом выражения (4.51) равен

$$W_2''' = \frac{Q_{II}}{t_1''' - t_{2,2}'''} = Q_2 \frac{t_2 - t_n'''}{t_2 - t_x} \cdot \frac{1}{t_1''' - t_{2,2}'''} \quad (4.53)$$

Температура сетевой воды на выходе из подогревателя нижней ступени определяется из равенств:

$$Q_I = (W_o' + W_2'') \cdot (t_{cm}'' - t_2'') \quad (4.54)$$

$$t_2''' = t_{cm}'' - \frac{Q_I}{(W_o' + W_2'')} \quad (4.55)$$

Отсюда с учетом выражения (4.51) получим

$$t_2''' = t_{cm}'' - Q_2 \frac{t_n''' - t_x}{t_2 - t_x} \frac{1}{(W_o' + W_2'')} \quad (4.56)$$

где W_o' – эквивалент расчетного расхода воды на отопление.

В диапазоне II вследствие повышения температуры воды после отопления подогрев водопроводной воды в подогревателе ступени I увеличивается. При этом тепловая нагрузка подогревателя ступени II соответственно снижается. Регулятор температуры РТ (см. рис. 4. 11) уменьшает поступление сетевой воды в подогреватель верхней ступени.

Из рис. 4. 9 и 4. 12 видно, что максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение наблюдается при температуре наружного воздуха t_n''' в точке излома температурного графика.

4.6 Центральное регулирование закрытых систем по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

Наличие нагрузки горячего водоснабжения увеличивает расход сетевой воды, что приводит к увеличению диаметров труб, а следовательно, и стоимости тепловой сети. Значительное сокращение расчетных расходов воды достигается при центральном качественном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. При этом методе регулирования в системе поддерживается постоянный расход, сетевой воды, равный расчетному расходу на отопление G_0 . Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура воды в подающем трубопроводе должна быть выше, чем требуется по отопительному графику.

Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения принимается при суммарном среднечасовом расходе теплоты на горячее водоснабжение более 15% от суммарного максимального часового расхода на отопление, $Q_{\text{гвм}}/Q_0' > 15$. Присоединение подогревателей горячего водоснабжения не менее чем у 75% абонентов должно быть выполнено по двухступенчатой последовательной схеме (рис. 4.13). Сетевая вода перед поступлением в систему отопления проходит через подогреватель верхней ступени, где температура ее снижается от t_1 до $t_{1,0}$. Расход воды на горячее водоснабжение изменяется регулятором температуры PT . Обратная вода после системы отопления поступает в подогреватель нижней ступени, где остывает от $t_{2,0}$ до t_2 . Постоянный расход сетевой воды на вводе поддерживается регулятором PP . Последовательное включение подогревателя верхней ступени дает возможность использовать в качестве теплового аккумулятора строительные конструкции здания. В часы максимального водопотребления снижается температура воды, поступающей в систему отопления, что приводит к уменьше-

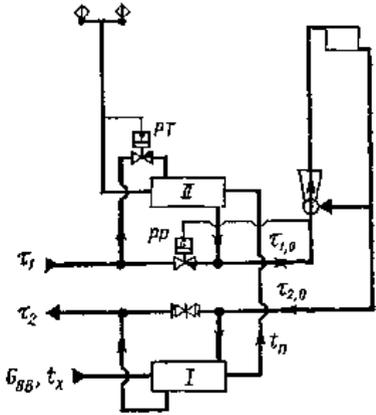


Рис.4.13. Присоединение подогревателей горячего водоснабжения по двухступенчатой последовательной схеме:

- I – подогреватель нижней ступени;
- II – подогреватель верхней ступени.

нию отдачи теплоты. Этот небаланс компенсируется в часы минимального водопотребления, когда в систему отопления поступает вода с температурой более высокой, чем требуется по отопительному графику. Суточный баланс теплоты на отопление обеспечивается при расчете температурного графика по «балансовой» нагрузке горячего водоснабжения Q_2^{δ} , несколько превышающей среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение

$$Q_2^{\delta} = \chi^{\delta} \cdot Q_{hm} \quad , \quad (4.57)$$

где c^{δ} – балансовый коэффициент, учитывающий неравномерность суточного графика горячего водоснабжения, обычно $c^{\delta} = 1,2$.

Задачей расчета является определение перепадов температур сетевой воды в подогревателе верхней ступени $d_1 = t_1 - t_{1,o}$ и нижней ступени $d_2 = t_{2,o} - t_2$.

При постоянном расходе сетевой воды и при «балансовой» нагрузке горячего водоснабжения Q_2^{δ} суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступени d – величина постоянная:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{Q_2^{\delta}}{cG'_o} = \frac{Q_2^{\delta}}{Q'_o} dt'_o = const. \quad (4.58)$$

где $d\phi_b$ – расчетная разность температур сетевой воды по отопительному графику.

Перепады температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступени определяют для каждого диапазона отдельно.

Диапазон I. Предварительно определяют температуру водопроводной воды на выходе из подогревателя нижней ступени t''_n при температуре наружного воздуха t'''_n и Q_2^{δ} , задавшись величиной недогрева $\Delta t''_n = 5 + 10^{\circ}C$

$$t''_n = t'''_{2,o} - \Delta t''_n \quad (4.59)$$

Перепад температур сетевой воды в подогревателе нижней / ступени $d_2'' = t'''_{2,o} - t_2''$ находят из уравнения

$$Q_1^{\delta} = Q_2^{\delta} \frac{t''_n - t_x}{t_2'' - t_x} = G'_o c d_2'' \quad (4.60)$$

откуда

$$d_2''' = \frac{Q_2^6}{G_o' c} \frac{t_n''' - t_x}{t_2 - t_x} = \frac{Q_2^6}{Q_o'} \frac{t_n''' - t_x}{t_2 - t_x} dt_o' \quad (4.61)$$

При известном суммарном перепаде температур δ значение δ_1''' определяют из выражения

$$d_1''' = d - d_2''' ; \quad (4.62)$$

Диапазон II. Перепад температур сетевой воды в подогревателе нижней ступени находят по формуле

$$d_2 = d_2''' \frac{t_2 - t_x}{t_2''' - t_x} \quad (4.63)$$

По найденным значениям δ_1 и δ_2 и известным температурам воды отопительно-бытового графика ($t_{1,o}$, $t_{2,o}$) находят температуры в подающем и обратном трубопроводах при регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения:

$$t_1 = t_{1,o} + d_1 \quad (4.64)$$

$$t_2 = t_{2,o} - d_2 \quad (4.65)$$

Графики температур, построенные с помощью равенств (4.64), (4.65), называют повышенными (рис.4.14).

По мере понижения температуры наружного воздуха и роста температуры воды после отопления соответственно возрастает нагрузка подогревателя нижней ступени и увеличивается значение δ_2 . Перепад температур сетевой воды в подогревателе верхней ступени пропорционально уменьшается.

При независимом присоединении отопительных установок (рис. 4.15) для расчета повышенного графика необходимо предварительно определить по формулам (4.27) и (4.28) температуры сетевой воды перед отопительным подогревателем $t_{1,T}$ после него $t_{2,T}$. Расчет перепадов темпера-

тур в ступенях I и II подогревателя горячего водоснабжения производится по формулам (4.57) – (4.65), при этом принимают вместо $t_{1,0}$ и $t_{2,0}$ соответственно $t_{1,r}$ и $t_{2,r}$

Расчет графиков центрального регулирования производят по режиму теплотребления «типового» абонента, для которого отношение средней часовой нагрузки горячего водоснабжения к расчетной отопительной такое же, как в целом по району. Для абонентов, режим теплотребления которых отличается от типового, предусматривается групповое или местное регулирование.

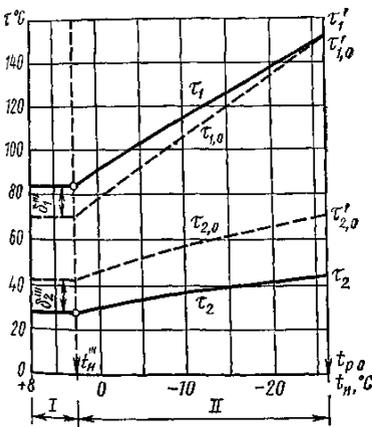


Рис. 4.14. График температур при центральном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения в закрытой системе теплоснабжения («повышенный» температурный график) $t_{1,0}$, $t_{2,0}$ – отопительно-бытовой график регулирования; t_1 , t_2 – повышенный график.

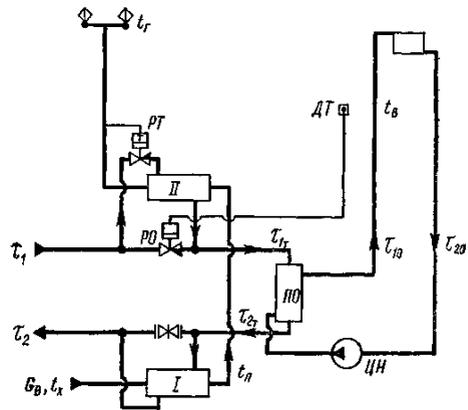


Рис. 4.15. Независимая схема присоединения отопительной системы при двухступенчатом последовательном присоединении подогревателей горячего водоснабжения: *ПО* - подогреватель отопления; *ЦН* - циркуляционный насос; *РО* - регулятор отопления; *ДТ* - датчик температуры воздуха в помещении

При разнородной тепловой нагрузке абонентов целесообразно сочетание центрального качественного регулирования по совместной нагрузке с местным количественным регулированием. Это становится возможным при замене регуляторов расхода *РР* регуляторами отопления *РО*, осуществ-

вляющими местное регулирование отопительных систем по импульсу от температуры воздуха в отапливаемом помещении (рис. 4.15)

4.7 Регулирование открытых систем теплоснабжения

В открытых системах теплоснабжения разбор воды на горячее водоснабжение осуществляется в зависимости от температуры воды в сети. При температуре воды в подающем трубопроводе, равной 60°C , водоразбор ведется только из подающей линии. С повышением температуры сетевой воды ($t_1 > 60^{\circ}\text{C}$) водоразбор осуществляется одновременно из обоих трубопроводов в таком соотношении, чтобы температура воды, поступающей на горячее водоснабжение, была равна 60°C . В холодный период отопительного сезона при $t_{2,0} \geq 60^{\circ}\text{C}$ разбор воды происходит только из обратной магистрали. Для смешения воды в абонентских узлах ввода предусматривается установка терморегуляторов (рис. 4.16). Изменение места и величины водоразбора существенно влияет на гидравлический и тепловой режимы системы теплоснабжения. Выбор метода центрального регулирования производится в за-

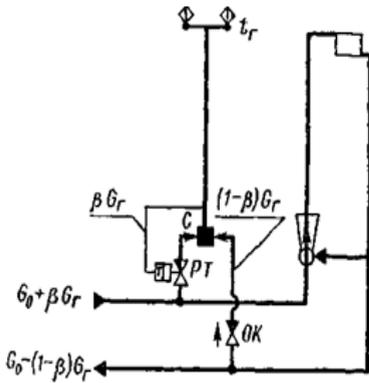


Рис. 4.16. Схема абонентского ввода в открытых системах теплоснабжения при центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке: C – смеситель; OK – обратный клапан

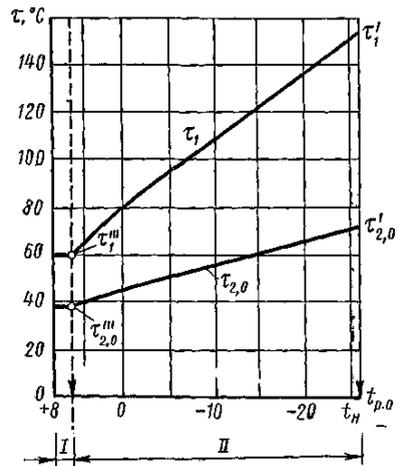


Рис. 4.17. График температур при центральном качественном регулировании открытых систем по отопительной нагрузке.

висимости от соотношения тепловых нагрузок горячего водоснабжения и отопления, а также схемы абонентского узла ввода. Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке применяется при отношении $Q_{\text{hm}}/Q_0' < 0,15$ и присоединении систем отопления и горячего водоснабжения к тепловой сети по принципу несвязанного регулирования (рис. 4.16). В этом случае расход воды на отопление поддерживается регулятором расхода PP и не зависит от нагрузки горячего водоснабжения

Температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах изменяется по графику качественного регулирования отопительной нагрузки при минимально допустимой температуре воды в подающей магистрали $t_1'' = 60$ °C (рис.4.17).

Расчетный расход воды на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$G_z = 3600 \frac{Q_z}{c(t_z - t_x)} \quad (4.66)$$

Величина водоразбора из подающей линии G_z^n и из обратной G_z^{ob} равна;

$$G_z^n = b G_z \quad (4.67)$$

$$G_z^{ob} = (1 - b) G_z, \quad (4.68)$$

где b – доля водоразбора из подающего трубопровода.

Из уравнения теплового баланса узла смешения горячего водоснабжения $G_z t_z = G_z^n t_1 + G_z^{ob} t_{2,o}$

и равенств (4.67), (4.68) получим

$$b = \frac{t_z - t_{2,o}}{t_1 - t_{2,o}} \quad (4.69)$$

В течение отопительного сезона доля водоразбора из подающей магистрали изменяется в пределах $0 \leq b \leq 1$ (рис.4.17). В холодный период отопительного сезона при температуре обратной воды $t_{2,o} > 60$ °C расход воды на горячее водоснабжение снижается пропорционально отношению $(t_z - t_x)/(t_{2,o} - t_x)$.

В этом диапазоне расход сетевой воды на горячее водоснабжение равен

$$G_c = 3600 \frac{Q_c}{c(t_{2,c} - t_1)} \quad (4.70)$$

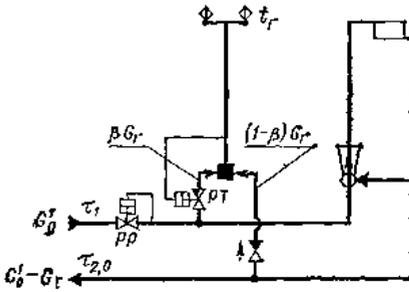


Рис.4.18. Схема абонентского ввода в открытых системах теплоснабжения при центральном качественном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

При суммарном среднечасовом расходе теплоты на горячее водоснабжение более 15% расчетного часового расхода тепла на отопление ($Q_{hm}/Q_0' > 0,15$) регулирование открытых систем производится по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения качественным или качественно-количественным методом.

Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке (скорректированный график) применяют при соотношении тепловых нагрузок у большинства потребителей в пределах $0,15 \leq Q_{hm}/Q_0' \leq 0,3$

Регуляторы расхода в абонентских узлах ввода устанавливают перед ответвлением на горячее водоснабжение (рис 4.18); они поддерживают постоянный расход воды, равный расчетному на отопление. Водоразбор из подающей линии уменьшает поступление сетевой воды в систему отопления. Небаланс теплоты на отопление компенсируется некоторым повышением температуры в подающем трубопроводе по сравнению с отопительным графиком. При этом методе регулирования строительные конструкции здания могут быть использованы в качестве аккумулятора теплоты, выравнивающего неравномерности суточного графика теплопотребления.

Для сохранения суточного баланса теплоты на отопление основной расчет проводится по балансовой нагрузке горячего водоснабжения $Q_2^{\delta} = \chi^{\delta} Q_{hm}$ с балансовым коэффициентом, равным $c^{\delta} = 1,1$.

Расход воды на отопление при любой температуре наружного воздуха и балансовой нагрузке горячего водоснабжения определяют из уравнения теплового баланса системы отопления с учетом водоразбора на горячее водоснабжение:

$$Q_o = (G'_o - bG_z)c(t_1 - t_{2,o}) \quad (4.71)$$

где G'_o – расчетный расход воды на отопление, кг/с.

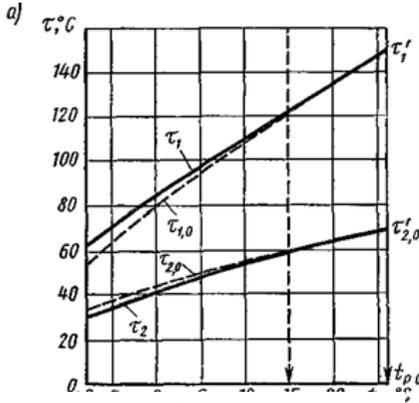


Рис. 4.19. График центрального качественного регулирования открытых систем теплоснабжения по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (скорректированный график)

Подставив значение b из выражения (4.69) и разделив равенство (4.71) на величину расчетного расхода на отопление G'_o , найдем относительный расход воды по

$$\bar{G}_o = 1 - \frac{t_2 - t_{2,o}}{t_1 - t_{2,o}} \cdot \frac{G_z}{G'_o} \quad (4.72)$$

Заменив в равенстве (4.72) величину $t_{2,o}$ ее значением по формуле (4.32), после алгебраических преобразований получим

$$\bar{G}_o = \frac{1 - 0,5 r^{\delta} \frac{\Theta'}{t_2 - t_x}}{1 + \frac{t_2 - t_g}{t_2 - t_x} \cdot \frac{r^{\delta}}{Q_o} - \frac{\Delta t'_o}{t_2 - t_x} \cdot \frac{r^{\delta}}{Q_o^{0,2}}} \quad (4.73)$$

где $r^{\delta} = Q_z^{\delta} / Q'_o$

Температуру воды в подающем и обратном трубопроводах определяют по формулам

$$t_1 = t_g + \frac{\bar{Q}_o}{G'_o} \left(dt'_o + \Delta t'_o \frac{\bar{G}_o}{Q_o^{0,2}} - 0,5 \Theta' \right) \quad (4.74)$$

$$t_{2,o} = t_g + \frac{\bar{Q}_o}{G'_o} \left(\Delta t'_o \frac{\bar{G}_o}{Q_o^{0,2}} - 0,5 \Theta' \right) \quad (4.75)$$

На рис. 4.19 показан скорректированный график температур воды и изменение расхода воды на отопление. При температуре обратной воды $t_{2,o} > 60^{\circ}\text{C}$ водоразбор осуществляется только из обратной магистрали. На этом диапазоне в систему отопления поступает расчетный расход воды

$\bar{G}_o = 1$, вследствие чего скорректированный график соответствует отопительному.